

EXXONMOBIL
ЭНЕРГЕТИКА



Задача

- Основываясь на многолетних рабочих отношениях, связанных с созданием собственных возможностей моделирования при поддержке технологий SIMULIA, компания ExxonMobil захотела усовершенствовать свой инструментарий моделирования, чтобы лучше решать множество проблем, связанных с подземной добычей сланцевого газа.

Решение

- SIMULIA тесно сотрудничала с Exxon для разработки современных моделей материалов общего назначения, технологии конечных элементов и вычислительных процедур, в том числе расчетной гидрогазодинамики (CFD) и динамики потока частиц (PFD). Эти модели позволяют определять решения, применимые в полевых условиях.

Преимущества

- Эти совместные усилия ExxonMobil и SIMULIA привели к фундаментальным усовершенствованиям возможностей моделирования для решения ключевых задач бурения, заканчивания скважин и их эксплуатации. Передовые технологии имитационного моделирования SIMULIA и 3D-визуализация играют все более важную роль в успехе ExxonMobil и энергетической отрасли в целом.

Всего за одно последнее десятилетие интерес к полностью сгорающему природному газу как топливу, удовлетворяющему основной глобальный спрос в энергоносителях, резко изменился. Например, в 2000 г. на сланцевый газ приходился лишь один процент поставок природного газа в США. Сегодня этот показатель равен уже 30 процентам и продолжает расти.

Почему? Потому что инновационные решения, разработанные на основе технологий, давно используемых нефтегазовыми компаниями, в настоящее время успешно применяются и к таким особым ресурсам, как сланцевые породы. Эти подземные разработки связаны со многими техническими проблемами, требующими детальной аналитики и понимания сложных физических аспектов. ExxonMobil является одной из крупных компаний, которые играют лидирующую роль в использовании имитационного моделирования для ускорения таких инноваций.

Компания ExxonMobil одной из первых (в конце 1970-х годов) получила лицензию на использование программного обеспечения Abaqus в энергетическом секторе. Отношения выходили за рамки просто коммерческих — ExxonMobil с самого начала совместно с SIMULIA разрабатывала технологии имитационного моделирования факторов, определяющих ключевые показатели энергетического сектора. Например, сотрудничество с ExxonMobil привело к тому, что в Abaqus впервые появилась возможность учитывать значительное скользящее смещение. Эту технологию использовали для повышения параметров давления и температуры, а также надежности нарезных трубных элементов и оборудования.

Брюс Дейл (Bruce Dale), главный инженер по подземным разработкам ExxonMobil, в своем основном докладе на Конференции сообщества SIMULIA в 2010 г. впервые изложил более чем тридцатилетнюю историю сотрудничества своей компании с SIMULIA и ее предшественниками.

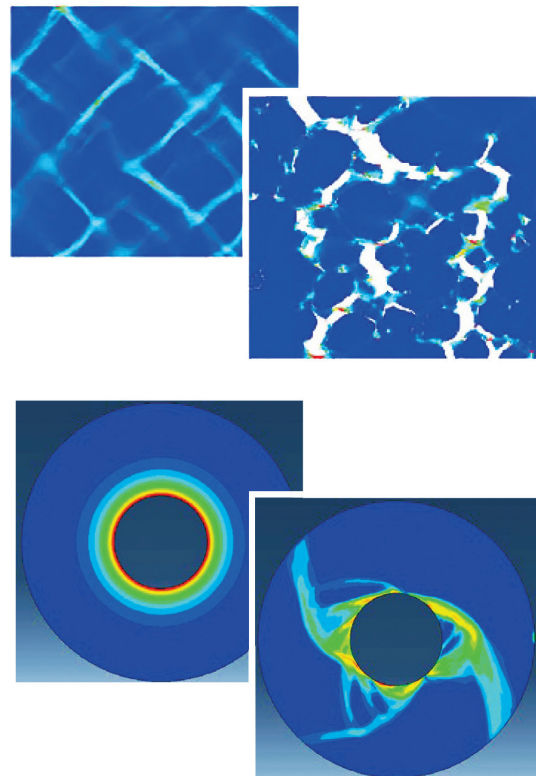


Вскоре после этого доклада инженерная команда приступила к новому проекту с SIMULIA для дальнейшего расширения возможностей имитационного моделирования, помогающего решить многие проблемы, связанные с подземной добычей сланцевого газа. Сотрудничество будет сосредоточено на разработке

современных моделей материалов общего назначения, технологии конечных элементов и вычислительных процедурах, используемых для того, чтобы определять решения указанных проблем.

В команду включены ведущие инженеры ExxonMobil, сотрудничающие напрямую с персоналом SIMULIA. Так, в частности, Кевин Сирлс (Kevin Searles) играет значительную роль в создании ключевой технической поддержки и консультировании совместной команды с момента ее создания. Важными также являются лидерские качества постоянных руководителей от ExxonMobil — Билла Клайна (Bill Kline), Джейсона Бердетта (Jason Burdette) и Эрики Бидигер (Erika Biediger) — в течение всего времени выполнения совместного проекта. (См. сведения об участниках проекта в боковых колонках.)

В этом году на Конференции сообщества SIMULIA (SCC) в Берлине Дейл выступил снова, представив интереснейший глубокий рассказ о том, насколько продвинулось партнерство с SIMULIA и насколько хорошо проработаны возможности, появившиеся за последние пять лет. Помимо SCC, команда ExxonMobil представляет эти технологии и на других технических конференциях нефтегазового сектора.



(Вверху) Усовершенствованные модели конечных элементов и (внизу) усовершенствованные определяющие модели, разработанные ExxonMobil совместно с SIMULIA.

Цзин Нин (Jing Ning)



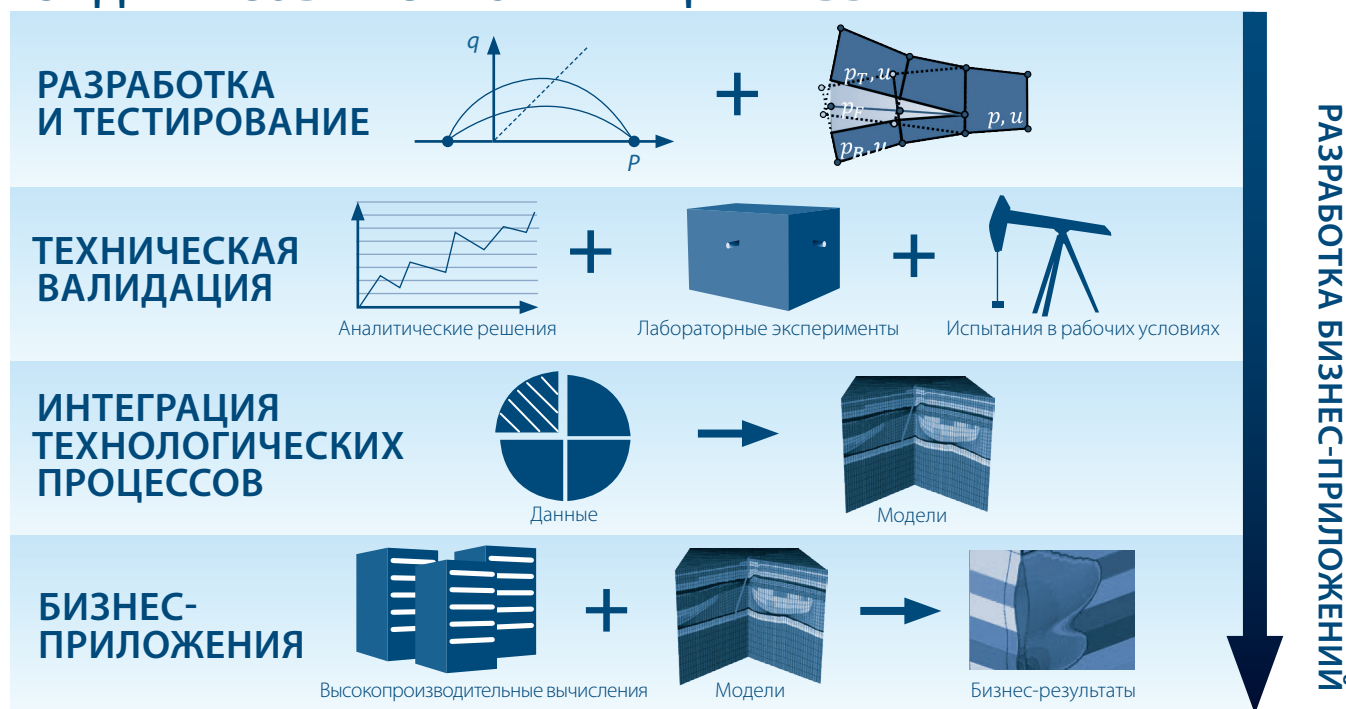
Цзин Нин, старший инженер-исследователь, получила степень доктора философии в области машиностроения в Корнеллском университете и в 2013 г. начала работать в Научном центре ExxonMobil. Сейчас она занимается вопросами выбуренной породы, обратной закачки и моделированием гидравлического разрыва при различных вариантах закачки воды. «Я нахожусь под большим впечатлением от работы с инженерами SIMULIA по совместному соглашению о разработках», — говорит Цзин Нин. Пабло Санс (Pablo Sanz), соавтор доклада на SCC-2015, поясняет: «Имитационное моделирование сделало работу более продуктивной в том плане, что получение более точных результатов, передаваемых подразделениям, потребует совсем небольшого увеличения затрат времени». В своем докладе на SCC-2015 «Экспериментальная валидация возможностей имитационного моделирования распространения гидравлических разрывов в пористой среде» Нин и Санс с коллегами сообщили о хорошем соответствии имитационного моделирования с использованием Abaqus экспериментальным результатам двух оценочных исследований по распространению разрыва под воздействием флюидов. «Решение этих проблем имеет принципиальное значение для ценностей бизнеса, которых мы придерживаемся», — говорит Санс.

Хорхе Гарсон (Jorge Garzon) и Матиас Желонка (Matias Zielonka)



Хорхе Гарсон, старший инженер-исследователь в отделе технологических показателей скважин Научного центра ExxonMobil, получил степень доктора философии в области гражданского строительства в Университете Иллинойса. Он работает над созданием геомеханических 3D-моделей для анализа таких явлений, как проскальзывание между разрывными нарушениями и целостность скважины и обсадной колонны. «Недавно разработанные возможности сочетают сложную физику исследовательских программ с возможностью запуска достаточно быстрых моделей для полномасштабных коммерческих приложений», — говорит Гарсон. — Это помогает нам прогнозировать геометрию гидравлических разрывов и изменения порового давления в результате извлечения нефти и газа». Для SCC-2015 Хорхе вместе с Матиасом Желонкой написал доклад «Усовершенствованное моделирование разрывов применительно к обратной закачке отходов бурения». Матиас является старшим инженером-специалистом отдела надзора и имитационного моделирования скважин в Компании. Он получил степень доктора философии в области авиационного машиностроения и прикладных расчетов в Калифорнийском технологическом институте. «Эти связанные решения, которые мы разработали совместно с SIMULIA, позволяют нам тестировать сценарии, которые невозможно воспроизвести в лаборатории, и с большой точностью применять результаты, полученные на наших моделях», — говорит Матиас.

ЗАДАЧИ СОВМЕСТНОЙ ИНИЦИАТИВЫ



Николай М. Костов (Nikolay M. Kostov)



Инженер-исследователь **Николай М. Костов** начал работать в Научном центре ExxonMobil после получения степени доктора в области машиностроения в Университете Райса. Сейчас он использует Abaqus для моделирования техногенной трещиноватости и прогнозирования целостности скважины. В статье **«Динамическое моделирование гидравлических разрывов для прогнозирования целостности скважины в пористой среде»**, которую он с коллегами представил на SCC-2015, описаны уникальные возможности моделирования разрыва в Abaqus с применением элементов CZM (метода когезионной зоны). «Автоматизированный рабочий процесс позволяет гораздо продуктивнее использовать время», — говорит Костов. Инструменты, которые он и его команда разработали совместно с SIMULIA, повысили достоверность прогнозирования сценариев. Костов отмечает: «Некоторые слабо изученные свойства можно оценить с помощью эмпирических моделей. Чтобы охватить области неопределенности, мы можем указать также диапазоны значений вместо конкретных чисел».

Ганеш Дасари (Ganesh Dasari)



Ганеш Дасари является руководителем команды, которая занимается пригодностью скважин к эксплуатации и подземной геомеханикой в Научном центре ExxonMobil. Ганеш начал работать в компании в 2003 г. после получения степени доктора в области гражданского строительства в Кембриджском университете. Описывая работу своей группы в статье **«Имитационное моделирование гидравлического разрыва рыхлых песков с использованием связанных пористо-упругопластических моделей»** для SCC-2015, Дасари говорит: «Разрушение в рыхлых песках проходит по сложным механизмам. Наша реалистичная модель, учитывающая свойства материалов, является ключом к пониманию поведения пластов и оптимальному управлению разрывами».

Эти усовершенствованные модели Abaqus показали, что при разрывах песчаных пластов, в отличие от разрывов твердых пород, преобладают разрушения сдвига, а не разрушения растяжения. «Нам было приятно, что наша модель выявила данную ключевую закономерность, — сказал Ганеш. — Эти обнадеживающие результаты позволяют нам применять имитационное моделирование к масштабам всего месторождения с увеличением параметров длины и времени».

«Совместными усилиями ExxonMobil и SIMULIA фундаментально улучшили имитационное моделирование для решения ключевых задач нефтегазовой отрасли по бурению, заканчиванию скважин и их эксплуатации, — говорит Дейл. — Передовые технологии имитационного моделирования и 3D-визуализация играют все более важную роль в успехе энергетической отрасли и предоставляют такие возможности моделирования, как анализ конечных элементов (FEA), расчетная гидрогазодинамика (CFD) и динамика потока частиц (PFD)».

Дейл является участником этих разработок с начала своей карьеры в Exxon в 1980-х годах. Начиная с исследований и разработок в области буровых работ, а со временем перешел к управленческим задачам и руководству командой. Дейл отвечает за кардинально новые технологии и на протяжении всей своей 34-летней карьеры содействует инновациям, творчеству и эффективности. «Когда-то давно у меня была возможность работать с ПО Abaqus, входящим в набор инструментов SIMULIA Dassault Systèmes, и это был отличный способ применить передовые технологии для имитационного моделирования того, что раньше мы могли проверять только в лаборатории или на площадке, — сказал Дейл в интервью после своего выступления в 2015 г.

— Я от природы любопытен, постоянно задаю вопрос „почему?“, и это, в частности, привело к тому, что мы начали использовать такие технологии с момента их появления». [Помимо прочего, любопытство Дейла привело к получению 20 патентов, воплощающих его идеи, и оформлению еще 40 патентных заявок!] Дейл сказал, что ему посчастливилось работать с рядом очень талантливых и ярких людей над расширением возможностей имитационного моделирования в Abaqus: «Когда мы работали вместе и располагали такими инструментами, идеи появлялись одна за другой».



Другие УЧАСТНИКИ ПРОЕКТА

Билл Клайн является руководителем отдела бурения и подземных разработок Научного центра ExxonMobil. Он получил степень кандидата химических наук в Мичиганском университете. Билл является соучредителем серии международных симпозиумов Pumps & Pipes («Насосы и трубопроводы»), которая объединяет специалистов нефтегазовой промышленности, аэрокосмической медицины и других отраслей для изучения общих интересов и возможностей сотрудничества.

Кевин Г. Сирлс, доктор философии, является советником по геомеханике Научного центра ExxonMobil в Хьюстоне, шт. Техас, и техническим руководителем разрабатываемых совместно с Abaqus решений для моделирования гидравлических разрывов. Последние 15 лет Кевин занимался во многих странах мира вопросами пластового уплотнения, термическими способами повышения нефтеотдачи, использованием геотермального тепла, гидравлическими разрывами и вопросами сброса выбуренной породы / воды, в том числе имитационным моделированием. Он запатентовал множество методов и процессов для геомеханического анализа с использованием различных масштабов, для управления закачкой флюидов и интеграции геомеханического и сейсмического мониторинга.

Эрика А. О. Бидигер руководит отделом технологических показателей скважин Научного центра ExxonMobil в Хьюстоне, шт. Техас. Эрика получила степень доктора в области машиностроения в Технологическом институте Джорджии и имеет шесть патентов США. Сейчас Эрика возглавляет команду технических специалистов по НИОКР, которая занимается новыми технологиями Abaqus, разрабатываемыми совместно с SIMULIA для моделирования разрывов.

Джейсон А. Бердетт является техническим руководителем буровой бригады в США ExxonMobil Development Company в Хьюстоне, шт. Техас. Джейсон начал работать в ExxonMobil в 2001 г. после получения степени магистра машиностроения в Политехническом университете Виргинии. До своего нынешнего назначения Джейсон руководил командой технических специалистов по НИОКР, работавшей над новыми технологиями Abaqus, разрабатываемыми совместно с SIMULIA для моделирования разрывов.

Пабло Ф. Санс является руководителем команды, которая занимается закачиваемостью скважин и наведенной сейсмичностью в Научном центре ExxonMobil. Пабло начал работать в ExxonMobil в 2008 г. после получения степени кандидата вычислительной геомеханики в Стэнфордском университете. Его исследовательские интересы лежат в области вычислительной геомеханики и гидравлических разрывов применительно к бурению, подземной инженерии и проблемам, связанным с наведенной сейсмичностью.

Другие участники проекта в Научном центре ExxonMobil в Хьюстоне, шт. Техас:

Скотт Р. Бюхлер (Scott R. Buechler) руководит командой, которая занимается производительностью скважин и их имитационным моделированием.

Майкл С. Челф (Michael S. Chelf) является руководителем отдела строительства скважин.

Раноджой Д. Даффадар (Ranojoy D. Duffadar) является инженером-специалистом отдела бурения и подземных разработок.

Гилберт Чж. Гао (Gilbert C. Kao) работает младшим инженером.

Сандип Кумар (Sandeep Kumar) работает инженером-исследователем в отделе технологических показателей скважин.

Фупин Чжоу (Fuping Zhou) работает старшим инженером-специалистом.

Дейл отметил, что использование имитационного моделирования повысило конкурентоспособность ExxonMobil. «В лаборатории нельзя целиком реализовать возможность получения полной картины из-за ограниченности расходов, размеров и времени, — говорит он. — В прошлом требуемое время часто превышало период принятия решения.

Теперь возможна визуализация с использованием имитационного моделирования, что позволяет выполнять обработку данных и выявлять возможности или недостатки намного раньше. Это оказывает непосредственное воздействие и влияние в гораздо большей степени, чем когда-либо раньше. Таким образом, в сегменте разведки и добычи визуализация значительно способствует объединению людей, выполняющих несопоставимый по типу анализ разнородных данных для решения некоторых весьма сложных задач».

В своей речи на SCC-2015 Дейл рассказал о стремлении своей компании разрабатывать ресурсы природного газа безопасным и надежным образом. Компания ExxonMobil разработала передовые методы управления с повышением эффективности и одновременным снижением общей экологической нагрузки, сказал он. Методы предусматривают защиту локальных ресурсов подземных вод, тесное взаимодействие с населением и властями, содействие прозрачности и эффективному регулированию.



Дейл пояснил, что при добыче природного газа из сланцевых пород приходится учитывать сложные физические явления на следующих этапах:

- бурение (создание пригодных для использования скважин);
- заканчивание скважин (в т. ч. установка обсадных труб от газоносного пласта до поверхности земли);
- интенсификация скважин (улучшение сообщаемости скважины с плоскостью забоя в пластовой породе);
- эксплуатация скважин (управление потоком пластовых флюидов через скважину, станции подготовки и систему трубопроводов);
- утилизация отходов (обратная безопасная закачка необрабатываемых флюидов в глубокие подземные горизонты).

Чтобы точно моделировать критические факторы, которые могут повлиять на успешное осуществление многих этапов добычи, ExxonMobil и SIMULIA разработали связанное математическое описание распространения разрыва под воздействием флюидов (описание гидравлического разрыва пласта) с использованием двух усовершенствованных методов конечных элементов. В методе когезионной зоны (CZM) траектория разрыва ограничивается плоскостью, а в расширенном методе конечных элементов (XFEM) траектория разрыва полностью описывается зависимостями.

В дополнение к этим усовершенствованным методам конечных элементов в Abaqus также реализованы усовершенствованные определяющие модели. В них учитывается неупругая деформация, зависящая от специфического типа сложного разрушения мягких пород.

Во всех случаях строгая валидация методик проводилась в широком диапазоне свойств горных пород и флюидов, а также в условиях потери флюидов. Использовались как полуаналитические решения, так и экспериментальные результаты лабораторных исследований.

ExxonMobil накопила уникальный экспериментальный потенциал внутри своей компании, а затем начала работу с SIMULIA по созданию 2D- и 3D-моделей для различных аспектов управляемого гидравлического разрыва горных пород. «После ввода фактических измеренных значений входных параметров и получения полной физической картины, а не просто «подстройки» моделей для достижения требуемого результата, мы можем быть уверены в валидации цифровых функций Abaqus, которые были недавно разработаны двумя компаниями совместно», — сказал Дейл.

Он подчеркнул, что эти недавно разработанные возможности имитационного моделирования служат основой для использования гидравлического разрыва пород компанией ExxonMobil. «Устранение проблем с бурением позволяет снизить расходы, — говорит Дейл. — Управление рисками бурения означает, что небольшим проблемам не позволят усугубиться. Усовершенствованное 3D-моделирование повышает нашу способность предвидеть такие проблемы, связанные с буровыми работами, как нестабильность сланцевых пород или уход бурового раствора в пески, и впоследствии снижать риски. Имитационное моделирование также помогает нам разрабатывать инновационные схемы извлечения, чтобы сделать эксплуатацию скважин более экономичной».

В заключение Дейл отмечает: «Совместная работа с SIMULIA весьма плодотворна. В течение нескольких следующих десятилетий компаниям во всем мире придется расширить поставки энергии безопасным, надежным, экономичным и экологически ответственным образом. Имитационное 3D-моделирование делает возможными инновационные решения, опираясь на основные принципы энергообеспечения в XXI веке».

Наша платформа 3DEXPERIENCE® является ключевым компонентом приложений нашего бренда и используется в 12 отраслях, предоставляя широкий выбор вариантов применения для создания отраслевых решений.

Dassault Systèmes, разработчик 3DEXPERIENCE®, предоставляет фирмам и частным лицам виртуальные вселенные для разработки рациональных инноваций. Ведущие решения компании помогают изменить подход к разработке, производству изделий и сервису. Решения Dassault Systèmes для взаимодействия способствуют поиску социальных инноваций и расширению возможностей виртуального мира для улучшения мира реального. Группа обслуживает свыше 190 000 клиентов — больших и малых компаний из различных отраслей более чем в 140 странах. Для получения дополнительной информации посетите веб-сайт www.3ds.com.



3DEXPERIENCE®